

3/3 (1/1 PAJ) - (C) PAJ / JPO

PN - JP8097034 A 19960412

AP - JP19940228513 19940922

PA - ALPS ELECTRIC CO LTD

IN - HASEGAWA NAOYA

I - H01F10/14

TI - SOFT MAGNETIC MULTILAYERED FILM

AB - PURPOSE: To provide a soft magnetic multilayered film excellent in soft magnetic characteristics and high in resistance to high temperature and corrosion by a method wherein first magnetic layers of Fe-X where element X is added for an improvement in resistance to corrosion and second magnetic layers of Fe-M-C where element X is added for an improvement in resistance to corrosion are alternately laminated.

- CONSTITUTION: First magnetic layers 1 and second magnetic layers 2 are alternately laminated on a substrate k for the formation of a soft

magnetic multilayered film A on the substrate k. The crystal grain of the first magnetic layer 1 of Fe-X (X is at least one or more elements selected out of Al, Si, Cr, Ru, Rh, Pd, Re, and Au) is like a columnar crystal and smaller than 49nm in average diameter. The second magnetic layer 2 of Fe-X-M-C (M denotes one or more elements selected out of Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Mo, and W, and C is carbon) has such a structure that carbide 5 of element M is deposited on the grain boundaries of the crystal grains 4 of Fe-X. The crystal grain 4 of the second magnetic layer 2 is small than 40nm in average grain diameter, and the carbide 5 is smaller than 10nm in grain diameter.

ABV - 199608

ABD - 19960830

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-97034

(43) 公開日 平成8年(1996)4月12日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 01 F 10/14

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全9頁)

(21) 出願番号 特願平6-228513

(22) 出願日 平成6年(1994)9月22日

(71) 出願人 000010098

アルプラス電気株式会社

東京都大田区雪谷大塚町1番7号

(72) 発明者 長谷川 直也

東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプラス電気株式会社内

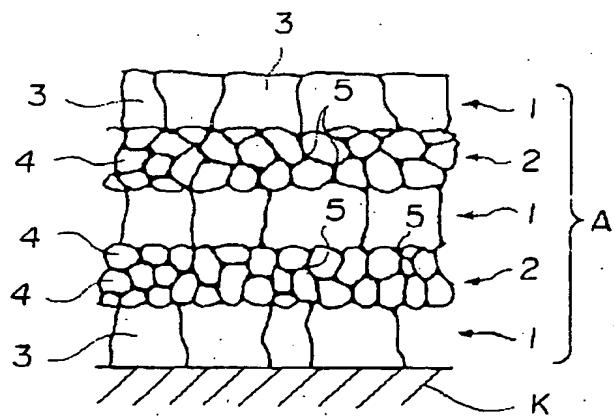
(74) 代理人 弁理士 志賀 正武 (外2名)

(54) 【発明の名称】 軟磁性多層膜

(57) 【要約】

【目的】 本発明は、高い透磁率と高い飽和磁束密度を有するとともに低い保磁力を有し優れた軟磁性特性を有した上で高耐熱性と耐食性を兼ね備えさせた軟磁性多層膜の提供を目的とする。

【構成】 本発明は、Fe-Xなる組成(但しXは、A<sub>1</sub>, Si, Cr, Ru, Rh, Pd, Re, Auより選ばれる少なくとも1種以上の元素を示す。)を有する第1の磁性層と、Fe-X-M-Cなる組成(但しMは、Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Mo, Wより選ばれる少なくとも1種以上の元素を示し、Cは炭素を示す。)を有する第2の磁性層が交互に積層され、前記第1の磁性層が、平均結晶粒径40nm以下の体心立方構造を有するFe-X合金固溶体の結晶を主体として構成され、前記第2の磁性層が、平均結晶粒径40nm以下の体心立方構造を有するFe-X合金固溶体の結晶と平均結晶粒径10nm以下の元素Mの炭化物の粒子を主体として構成されてなるものである。



≤ 2.5 の範囲とし、第 2 の磁性層においてその組成比  $a, b, c$  を  $1 \leq a \leq 2.5, 2 \leq b \leq 1.5, 2 \leq c \leq 2.0$  とすることがより好ましく、特に  $b, c$  を  $3 \leq b \leq 1.5, 5 \leq c \leq 2.0$  とするのが更に好ましい。

【0015】前記元素 X は、bcc-Fe に固溶する元素であり、bcc-Fe に固溶してその耐食性を改善する元素である。この元素 X を Fe 層および Fe-M-C 層の両方に含有させることが重要である。なお、これらの元素の組み合わせの系の中でも、[Fe-A1/Fe-A1-M-C] なる多層膜あるいは[Fe-Si-A1/Fe-Si-A1-M-C] なる多層膜が耐食性と磁歪調整および高飽和磁束密度を得る面から特に好ましい。

【0016】前記の組成式で示される第 1 の磁性層 1 と第 2 の磁性層 2 において、元素 X の含有量を示す  $a$  が、 $a < 1$  原子% の関係であると耐食性改善の効果が顕著ではない。また、 $a > 2.5$  原子% の関係であると、飽和磁束密度が低くなり過ぎる。次に、第 2 の磁性層 2 において、元素 M の含有量を示す  $b$  が、 $b < 2$  原子% の関係であると成膜時の非晶質形成能が十分ではなくなるおそれがあるとともに、 $b > 1.5$  原子% の関係であると、飽和磁束密度が低くなり過ぎる。更に、第 2 の磁性層 2 において、C の含有量を示す  $c$  が、 $c < 2$  原子% の関係であると後述する第 1 の磁性層 1 の柱状結晶を分断できなくなるおそれがあり、 $c > 2.0$  原子% の関係では飽和磁束密度が低くなりすぎる問題がある。

【0017】次に前記第 1 の磁性層 1 において、図 1 に示す Fe-X なる組成の結晶粒 3 の平均結晶粒径は 40 nm 以下とされ、その結晶粒 3 は柱状結晶とされている。また、第 2 の磁性層 2 は、Fe-X なる組成の結晶粒 4 の結晶粒界に元素 M の炭化物 5 が析出された構造になっていて、この第 2 の磁性層 2 においても Fe-X なる組成の結晶粒 4 の平均結晶粒径は 40 nm 以下にされている。また、第 2 の磁性層 2 内の炭化物 5 の粒径は 10 nm 以下にされている。ここで、前記結晶粒 3 または結晶粒 4 の平均結晶粒径が 40 nm を超えるようであると、良好な軟磁気特性を得ることが難しくなる。更に、元素 M の炭化物 5 の粒径が 10 nm を超えると、図 2 に拡大して示すように、隣接する結晶粒 4、4 が直接接する面積（炭化物の介在していない部分での結晶粒 4、4 どうしの接觸面積）を充分に確保できなくなるので、10 nm 以下が好ましい。これは、結晶粒 4、4 間の交換相互作用を充分に働かせて高い軟磁気特性を得るために、結晶粒 4、4 の直接接する面積を出来るだけ広くとることが有利になることに起因している。

【0018】なお、第 1 の磁性層 1 の厚さは 40 nm 以下とされている。第 1 の磁性層 1 の Fe-X なる組成の結晶粒 3 の大きさは、図 1 に示すようにその層自体の厚さと同程度になる。従って、結晶粒 3 の粒径を 40 nm 以下とするためには、層厚を 40 nm 以下とすることが

好ましい。

【0019】次に、第 2 の磁性層 2 が 5 nm より薄いと、第 1 の磁性層 1 の Fe-X なる組成の結晶粒 3 の柱状結晶を充分に分断することができなくなり、結晶粒 3 が粗大化する。この理由は、第 2 の磁性層 2 をスパッタや真空蒸着などの成膜法で形成した場合、膜の素材物質がアイランド状（島状）に点在して生成し、これが最後につながって連続膜になるので、膜が薄すぎると第 2 の薄膜磁性 2 が連続膜になる以前の厚さになるため穴が生じやすく、この穴付きの第 2 の磁性層上に第 1 の磁性層 1 を形成したのでは、穴を通して上下の第 1 の磁性層 1 がつながって磁性層 1 の結晶が粗大な柱状結晶になってしまふおそれがあるためである。次の理由は、第 2 の磁性層 2 を第 1 の磁性層 1 上に成膜する場合、最初に堆積したごく薄い部分は、bcc の Fe の結晶であり、厚さの増加とともに次第に非晶質が堆積するようになる。従って厚さ 5 nm 以下の第 2 の磁性層 2 では一部結晶層の堆積となってしまい、非晶質層の堆積が充分ではなくなるためである。

【0020】なお、仮に第 1 の磁性層 1 を 5 nm 以下に形成し、第 2 の磁性層 2 を 40 nm 以上に形成し、第 1 の磁性層 1 に穴等の欠陥がないとすれば、上記のような問題を生じないが、第 1 の磁性層 1 の飽和磁束密度は第 2 の磁性層 2 の飽和磁束密度よりも大きいので、第 1 の磁性層 1 の厚さを第 2 の磁性層 2 の厚さよりも小さくすると多層膜全体としての飽和磁束密度を高くするために不利となる。

【0021】前記構造の軟磁性多層膜 A は、Al, Si, Cr, Ru, Rh, Pd, Re, Au より選ばれる少なくとも 1 種以上の元素 X を含む耐食性に優れ、極めて高い飽和磁束密度を示す Fe-X なる組成の第 1 の磁性層 1 と、元素 X に加えて Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Mo, W より選ばれる少なくとも 1 種以上の元素 M と炭素 C を含む耐食性に優れ、飽和磁束密度が高く、低磁歪の Fe-M-X-C なる組成の第 2 の磁性層 2 を積層しているために、全体として飽和磁束密度が極めて高く、磁歪が低く、かつ、耐食性に優れる特徴がある。

【0022】従って、製造過程のガラス溶着により高温に加熱され、耐食性の要求される磁気ヘッド用の軟磁性多層膜として有用な特徴があり、磁気ヘッド用とした場合に、耐食性と低磁歪と高飽和磁束密度の全てを兼ね備えた優れた磁気ヘッドを提供することができる。なお、Fe-M-C 系の単層膜で耐食性を上げるために、耐食性を上げる効果のある元素を添加する必要があり、その元素を添加すると飽和磁束密度は 1.3 ~ 1.4 kG 程度に低下するが、上記構造の軟磁性多層膜を用いると、1.6 ~ 1.7 kG 程度の飽和磁束密度を容易に得ることができる。

【0023】次に前記構造の軟磁性多層膜 A を製造するための方法の一つの例について説明する。図 3 は軟磁性

多層膜Aを製造するために用いて好適な成膜装置の一例を示すもので、この例の成膜装置は、支持軸10によって水平に回転自在に支持された基板ホルダ12と、この基板ホルダ12の上方に離間して左右に配置されたカソード13、14を具備して構成され、装置全体が図示略の真空容器に収納されて構成されている。また、カソード13、14はそれぞれ整合器15を介して高周波電源16に接続されている。

【0024】更に、基板ホルダ12の上面には、基板Kが設置され、カソード13の下面には第2の磁性層形成用のターゲット18がカソード14の下面には第1の磁性層形成用のターゲット19がそれぞれ装着されている。前記ターゲット18は、純鉄、Fe-X合金、Fe-X-M合金のいずれかからなるメインターゲット18aと、このメインターゲット18aの下面に装着された炭素Cあるいは元素Xあるいは元素Mからなるチップ状のサブターゲット18bとから形成されるとともに、前記ターゲット19は、Fe-X合金から形成されている。なお、各ターゲットの組成や配置は製造しようとする多層膜中に元素MやXを添加できれば良いので自由に選択して良い。

【0025】前記成膜装置を用いて軟磁性多層膜Aを製造するには、まず、成膜装置内部を不活性ガスを含む減圧雰囲気とし、カソード13とカソード14に通電してターゲット18とターゲット19の構成原子をスパッタし、基板ホルダ12の回転により基板Kをカソード13の下方かカソード14の下方に順次移動させて基板K上にスパッタ粒子を堆積させることで行う。基板ホルダ12の回転によりカソード14の下方に基板Kを静止させた場合は、基板K上に第1の磁性層1の堆積を行うことができ、カソード13の下方に基板Kを静止させた場合は、第2の磁性層用のスパッタ粒子の堆積を行うことができ、第2の磁性層用の準備層（即ち、非晶質層）の堆積を行うことができる。なお、これらの堆積を行う場合、各層の厚さは先に述べたような厚さの範囲内に入るよう成膜処理を行う。

【0026】図4に、第1の磁性層1を3層と第2の磁性層用の準備層2'を2層、基板K上に交互に堆積した状態を示す。この状態において、第1の磁性層1は、柱状晶の配列した状態を呈しているが、第2の磁性層用の準備層2'は成膜処理のままでは非晶質状態となっている。必要数の層の堆積が終了したならば、400~700℃に加熱する熱処理を行って非晶質状態の第2の磁性層用の準備層2'を結晶化し、微細結晶粒を析出させる。この熱処理により第2の磁性層用の準備層2'をFe-Xなる組成の結晶粒4とその粒界に析出した元素Mの炭化物5からなる第2の磁性層2とすることができます、図1に示す軟磁性多層膜Aを得ることができる。

【0027】なお、約550℃以上の温度で熱処理を行うと、元素Xは第1の磁性層1と第2の磁性層2の間で

拡散を起こすので、元素Xの濃度が第1の磁性層1と第2の磁性層2の間で平均化されてしまうことを本発明者のオージェ電子分光による多層膜の深さ方向の組成分析により知見している。一方、元素MとCは強く結合して炭化物を形成するために、容易には拡散せず、大部分は第2の磁性層2中に止まる。

【0028】ところで、基板K上に第1の磁性層1を成膜する場合、40nm以上の厚さに形成すると、図5に示すように膜の堆積をする間に結晶粒1"の成長が起こり、結晶粒が粗大化してしまう。即ち、膜の堆積初期段階においては、微結晶粒であったものが、膜の成長とともに粒径が大きくなってしまい、大きな膜厚であると軟磁気特性の面で劣るようになる。従って第1の磁性層1の結晶粒を粗大化させないように第1の磁性層1の厚さを40nm以下にすることが好ましい。また、第1の磁性層1の上下を非晶質の準備層2'で挟むことで第1の磁性層1の柱状晶の成長を分断することができ、この準備層2'上に再度第1の磁性層1を成膜すると、再度微細結晶粒の堆積が始まることで第1の磁性層1…の全てを微細結晶粒とすることができます。

【0029】次に、図6は本発明に係る軟磁性多層膜の他の構造例を示すもので、この例の構造は、第1の磁性層1を3層と第2の磁性層2を3層、基板K上に順次積層してなるものである。この例のように第2の磁性層2を最外層に配置しても先の例と同等の効果を得ることができる。

【0030】（製造例）以下、具体的な製造例を挙げて本発明を更に詳細に説明する。結晶化ガラス製の基板を図2に示す構成の高周波2極スパッタ装置の基板ホルダーに装着し、スパッタ装置内を0.67PaのArガス雰囲気とし、高周波入力を $2.4 \times 10^4$ W/m<sup>2</sup>として2つのカソードを同時放電し、基板ホルダを間欠的に回転移動させて前記基板上に厚さ10nmの第1の磁性層と、厚さ10nmの第2の磁性層用の準備層を交互に多回（90~250回）積層し、全体で厚さ5μmの軟磁性多層膜準備層を得た。なお、用いたターゲットは、得ようとする軟磁性多層膜の組成に合わせて、Feターゲット、Fe-X合金ターゲット、Fe-X-M合金ターゲットを使い分けた。なおまた、各カソードの下に基板を静止させている時間をタイマーで制御し、第1の磁性層と第2の磁性層の厚さがほぼ同じになるように調整した。

【0031】この成膜後、550℃で20分間保持後徐冷する熱処理を行い非晶質の準備層を結晶化して軟磁性多層膜を得た。また、従来例として、純Fe層とFe-Hf-C層とを交互に250周期（合計500層）積層して形成した軟磁性多層膜を形成するとともに、比較例として、各層の厚さを前述した好ましい範囲から外れた厚さに形成した軟磁性多層膜を形成した。

【0032】得られた各軟磁性多層膜の膜組成と、膜の

堆積数と、第1の磁性層の粒径と、第2の磁性層のFe-Xなる組成の結晶粒の粒径と、元素Mの炭化物の粒径と、得られた各軟磁性多層膜の初透磁率( $\mu$ : 1 MHz)と、保磁力(Hc)と、飽和磁束密度(Bs)を測定した結果、および、耐食性試験の結果を表1に示す。結晶粒径の測定は、透過型電子顕微鏡観察またはX線回折ピークの半値幅から算出し、耐食性試験は、60°。C. 相対湿度90%の環境下に96時間放置した場合の\*

従来例	多層膜組成	粒径 (nm)		$\mu$ at 1 MHz	Hc (Oe)	Bs (KG)	耐食性
		第1の 磁性層	第2の磁性層 Fe-X/M炭化物				
	[Fe(10nm)/ Fe <sub>80.5</sub> Hf <sub>7.7</sub> C <sub>11.8</sub> (10nm)] <sub>250</sub>	~10	5~7	1~3	5100	0.18	19.4
本 發 明	[Fe <sub>85.0</sub> Si <sub>12.5</sub> A <sub>12.5</sub> (10nm)/ Fe <sub>78.8</sub> Si <sub>11.6</sub> Al <sub>2.3</sub> Hf <sub>2.8</sub> C <sub>4.5</sub> (10nm)] <sub>250</sub>	~10	5~8	1~3	5500	0.15	17.5
	[Fe <sub>85.0</sub> Si <sub>12.5</sub> A <sub>12.5</sub> (30nm)/ Fe <sub>78.8</sub> Si <sub>11.6</sub> Al <sub>2.3</sub> Hf <sub>2.8</sub> C <sub>4.5</sub> (10nm)] <sub>125</sub>	~30	5~8	1~3	1100	0.48	18.5
	[Fe <sub>85.0</sub> Si <sub>12.5</sub> A <sub>12.5</sub> (21nm)/ Fe <sub>78.8</sub> Si <sub>11.6</sub> Al <sub>2.3</sub> Hf <sub>2.8</sub> C <sub>4.5</sub> (7nm)] <sub>380</sub>	~20	5~7	1~3	3400	0.27	18.2
比 較 例	[Fe <sub>85.0</sub> Si <sub>12.5</sub> A <sub>12.5</sub> (45nm)/ Fe <sub>78.8</sub> Si <sub>11.6</sub> Al <sub>2.3</sub> Hf <sub>2.8</sub> C <sub>4.5</sub> (10nm)] <sub>90</sub>	~43	5~8	1~3	420	3.70	18.7
	[Fe <sub>85.0</sub> Si <sub>12.5</sub> A <sub>12.5</sub> (10nm)/ Fe <sub>78.8</sub> Si <sub>11.6</sub> Al <sub>2.3</sub> Hf <sub>2.8</sub> C <sub>4.5</sub> (3nm)] <sub>380</sub>	50以上	2~4	1~3	710	1.95	18.0

【0034】表1に示す結果から明らかなように、第1の磁性層と第2の磁性層を前述した好ましい厚さ範囲内とし、各元素の割合を前記の範囲内とした試料においては、優れた透磁率と低い保磁力と高い飽和磁束密度を発揮した。これに対し、第1の磁性層あるいは第2の磁性層の厚さを規定の範囲の厚さから外して形成した比較例の試料は、第1の磁性層の結晶粒径が大きくなってしまうとともに、透磁率が低く、保磁力も大きくなってしまい、軟磁性特性が低下している。なお、表1における比較例の1つである第2の磁性層の厚みが3nmの試料においては、第2の磁性層中のFe-X合金結晶粒径が2~4nmのもののほかに、第2の磁性層が第1の磁性層とつながってしまい、50nm以上になってしまった結晶粒も存在していた。表1に示す結果から明らかなよう

\*多層膜の外観を以下の基準で評価したものである。

○…変色や腐食が全く見られないもの。

△…多層膜全体の10%未満が変色したものの。

×…多層膜全体の10%以上が変色(腐食)したものの。

【0033】

【表1】

※に、本発明に係る試料は、耐食性に優れ、高い透磁率と低い保磁力および高い飽和磁束密度を兼ね備え、優れていることが明らかになった。

【0035】次に、第1の磁性層と第2の磁性層において、元素Xの含有量を前記した最も好ましい範囲内に設定した試料とその範囲外とした種々の試料を作成し、これらの試料の初透磁率( $\mu$ : 1 MHz)と、保磁力(Hc)と、飽和磁束密度(Bs)を測定した結果、および、耐食性試験の結果を表2に示す。表2において\*印を付した試料は元素Xの含有量を最も好ましい範囲から外した試料を示す。

【0036】

【表2】

	$\mu$ at 1 KHz	Hc (Oe)	Bs (KG)	耐食性
[Fe <sub>98.2</sub> Al <sub>1.6</sub> (10nm)/ Fe <sub>81.5</sub> Al <sub>1.5</sub> Hf <sub>6.7</sub> C <sub>10.1</sub> (10nm)] <sub>250</sub>	5810	0.12	19.6	△
[Fe <sub>85.5</sub> Si <sub>14.3</sub> Al <sub>1.2</sub> (20nm)/ Fe <sub>72.8</sub> Si <sub>13.2</sub> Al <sub>6.5</sub> Hf <sub>2.8</sub> C <sub>4.5</sub> (7nm)] <sub>180</sub>	4120	0.2	14.1	○
[Fe <sub>99.3</sub> Al <sub>0.7</sub> (10nm)/ Fe <sub>82.8</sub> Al <sub>0.6</sub> Hf <sub>6.5</sub> C <sub>10.1</sub> (10nm)] <sub>250</sub>	5630	0.11	19.2	×
[Fe <sub>71.5</sub> Si <sub>18.3</sub> Al <sub>10.5</sub> (10nm)/ Fe <sub>65.5</sub> Si <sub>16.8</sub> Al <sub>9.0</sub> Hf <sub>3.0</sub> C <sub>5.0</sub> (10nm)] <sub>250</sub>	2160	0.71	9.3	○

【0037】表2に示す結果から、前記最も好ましい範囲から外れた組成を有する軟磁性多層膜は、前記好まし

い組成範囲の試料に比べ、透磁率と保磁力と飽和磁束密度と耐食性のいずれかが劣っていることが判明した。

【0038】次に、第1の磁性層と第2の磁性層において、元素MかCの含有量を前記した最も好ましい範囲内に設定した試料とその範囲外とした種々の試料を作成し、これらの試料の初透磁率( $\mu$ : 1 MHz)と、保磁\*

\*力(Hc)と、飽和磁束密度(Bs)を測定した結果、および、耐食性試験の結果を表3に示す。表3において\*印を付した試料は元素MあるいはCの含有量を最も好ましい範囲から外した試料を示す。

【0039】

【表3】

	粒径(nm)			$\mu$ at 1 MHz	Hc (Oe)	Bs (KG)	耐食性
	第1の 磁性層		第2の 磁性層				
	Fe-(X)	M炭化物					
[Fe <sub>85.5</sub> Si <sub>4.5</sub> (10nm)/ Fe <sub>80.5</sub> Si <sub>13.6</sub> Hf <sub>2.5</sub> C <sub>3.6</sub> (10nm)] <sub>250</sub>	~10	5~8	1~3	5320	0.13	17.3	○
[Fe <sub>94.7</sub> Cr <sub>5.3</sub> (10nm)/ Fe <sub>89.5</sub> Cr <sub>4.3</sub> Zr <sub>5.3</sub> C <sub>9.7</sub> (10nm)] <sub>250</sub>	~10	5~7	1~3	3820	0.31	12.9	○
[Fe <sub>96.2</sub> Al <sub>3.8</sub> (10nm)/ Fe <sub>73.1</sub> Al <sub>2.9</sub> Ta <sub>10.7</sub> C <sub>11.1</sub> (10nm)] <sub>250</sub>	~10	5~7	1~3	5170	0.14	17.0	○
[Fe <sub>97.3</sub> Al <sub>2.7</sub> (10nm)/ Fe <sub>67.1</sub> Al <sub>1.9</sub> Nb <sub>13.2</sub> C <sub>17.5</sub> (10nm)] <sub>250</sub>	~10	5~7	1~3	4870	0.19	16.8	△
[Fe <sub>96.7</sub> Al <sub>3.3</sub> (10nm)/ Fe <sub>64.6</sub> Al <sub>2.2</sub> Ti <sub>14.3</sub> C <sub>18.9</sub> (10nm)] <sub>250</sub>	~10	6~9	2~4	2770	0.28	15.9	○
[Fe <sub>97.5</sub> Al <sub>2.5</sub> (10nm)/ Fe <sub>67.2</sub> Al <sub>1.7</sub> V <sub>13.8</sub> C <sub>17.3</sub> (10nm)] <sub>250</sub>	~10	7~10	3~5	1830	0.32	15.7	△
* [Fe <sub>86.2</sub> Si <sub>13.8</sub> (10nm)/ Fe <sub>88.5</sub> Si <sub>13.3</sub> Hf <sub>1.5</sub> C <sub>1.8</sub> (10nm)] <sub>250</sub>	50以上	5~10	1~3	230	4.80	18.8	○
* [Fe <sub>83.4</sub> Si <sub>12.8</sub> Al <sub>1.8</sub> (10nm)/ Fe <sub>79.8</sub> Si <sub>7.6</sub> Al <sub>2.3</sub> Ta <sub>17.2</sub> C <sub>23.1</sub> (10nm)] <sub>250</sub>	~12	4~6	1~3	2800	0.72	11.8	○
* [Fe <sub>83.4</sub> Si <sub>12.8</sub> Al <sub>3.8</sub> (10nm)/ Fe <sub>79.8</sub> Si <sub>7.6</sub> Al <sub>2.3</sub> Ta <sub>1.7</sub> C <sub>23.1</sub> (10nm)] <sub>250</sub>	~13	6~10	5~11	700	2.71	12.7	○ 700°C 20分 保持熱処理

【0040】表3に示す結果から、前記最も好ましい範囲から外れた組成を有する軟磁性多層膜は、前記最も好ましい組成範囲の試料に比べ、透磁率と保磁力と飽和磁束密度のいずれかが劣っていることが判明した。なお、表3の一番下の欄の試料において炭化物の粒径が10 nmを超えているものは、第2の磁性層内のFe-X結晶粒間の磁気的交換結合が妨げられ、軟磁気特性が低下している。また、表3の、下から3番目の欄の試料において

※では、Hf、C濃度が低いために第2の磁性層の準備層が非晶質にならず、第1の磁性層がつながって50 nm以上となったものもあった。

【0041】次に、第1の磁性層と第2の磁性層において、元素Xを他の元素で置換した試料の測定結果を表4に示す。

【0042】

【表4】

	$\mu$ at 1 KHz	Hc (Oe)	Bs (KG)	耐食性
[Fe <sub>94.5</sub> Ru <sub>5.5</sub> (10nm)/ Fe <sub>79.4</sub> Ru <sub>4.6</sub> Hf <sub>6.3</sub> C <sub>9.7</sub> (10nm)] <sub>250</sub>	4920	0.17	18.8	○
[Fe <sub>95.8</sub> Rh <sub>4.2</sub> (10nm)/ Fe <sub>79.1</sub> Rh <sub>3.3</sub> Hf <sub>7.1</sub> C <sub>10.3</sub> (10nm)] <sub>250</sub>	4710	0.15	19.2	○
[Fe <sub>92.8</sub> Pd <sub>7.2</sub> (10nm)/ Fe <sub>77.3</sub> Pd <sub>6.0</sub> Hf <sub>6.9</sub> C <sub>9.8</sub> (10nm)] <sub>250</sub>	2810	0.42	17.9	△
[Fe <sub>93.6</sub> Re <sub>6.4</sub> (10nm)/ Fe <sub>78.5</sub> Re <sub>5.4</sub> Hf <sub>6.5</sub> C <sub>9.6</sub> (10nm)] <sub>250</sub>	2210	0.49	17.3	△
[Fe <sub>96.2</sub> Au <sub>3.8</sub> (10nm)/ Fe <sub>77.7</sub> Au <sub>3.1</sub> Hf <sub>7.6</sub> C <sub>10.6</sub> (10nm)] <sub>250</sub>	3610	0.28	19.0	△

【0043】表4に示す結果から、いずれの試料も高い透磁率と低い保磁力と高い飽和磁束密度を有し、充分な

耐食性も兼ね備えていることが明らかである。なお、表50 1~表4に示す試料においては、[Fe-Si-Al/F

e-Si-Al-Hf-C]系、[Fe-Al/Fe-Al-Hf-C]系、[Fe-Si/Fe-Si-Hf-C]系、[Fe-Cr/Fe-Cr-Zr-C]系、[Fe-Al/Fe-Al-Ta-C]系、[Fe-Al/Fe-Al-Nb-C]系、[Fe-Al/Fe-Al-Ti-C]系、[Fe-Al/Fe-Al-V-C]系]、[Fe-Ru/Fe-Ru-Hf-C]系、[Fe-Rh/Fe-Rh-Hf-C]系、[Fe-Pd/Fe-Pd-Hf-C]系、[Fe-Re/Fe-Re-Hf-C]系、[Fe-Au/Fe-Au-Hf-C]系の各試料において、いずれも優れた特性が得られた。

## 【0044】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、耐食性を向上させる元素XをFeに添加したFe-Xなる組成の第1の磁性層と、耐食性を向上させる元素XをFe-M-C系に添加した第2の磁性層を交互に積層してなるので、耐食性が高く飽和磁束密度の特に高い第1の磁性層の優れた特性と、耐食性が高く透磁率や保磁力の優れた第2の磁性層の優れた特性を兼ね備えた軟磁性多層膜を得ることができる。その場合、第1の磁性層の結晶粒径を平均結晶粒径40nm以下との体心立方構造を有するFe-X合金固溶体の結晶を主体として構成し、第2の磁性層を平均結晶粒径40nm以下の体心立方構造を有するFe-X合金固溶体の結晶と平均結晶粒径10nm以下の元素Mの炭化物の粒子とから構成することで、第1の磁性層と第2の磁性層の優れた面を兼ね備えさせることができる。

【0045】前記の構造において、第1の磁性層と第2の磁性層のそれぞれを5~40nmの範囲の厚さに形成

することで、良好な軟磁気特性と耐食性を兼ね備えさせることができる。また、組成比を前述した範囲とすることで、より良好な軟磁気特性と耐食性を兼ね備えさせた軟磁性多層膜を得ることができる。

【0046】更に、成膜時において結晶質状態の第1の磁性層と、成膜時に非晶質状態とした磁性層を形成し、これらを熱処理することで非晶質の磁性層に微細結晶粒を生じさせ第2の磁性層とすることができる。

## 【図面の簡単な説明】

10 【図1】本発明に係る軟磁性多層膜の一実施例を示す断面図である。

【図2】図1に示す構造における第2の磁性層の拡大図である。

【図3】図1に示す軟磁性多層膜を製造する装置の一例を示す構成図である。

【図4】基板上に軟磁性多層膜準備層を成膜した状態を示す断面図である。

【図5】粗大化したFeの結晶粒を示す断面図である。

20 【図6】本発明に係る軟磁性多層膜の他の実施例を示す断面図である。

## 【符号の説明】

A、A' … 軟磁性多層膜

1 … 第1の磁性層

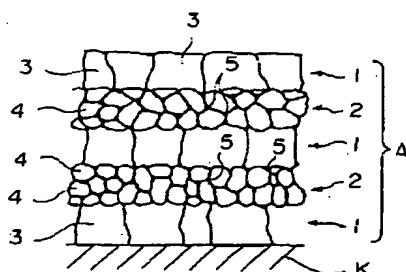
2 … 第2の磁性層

3 … 結晶粒

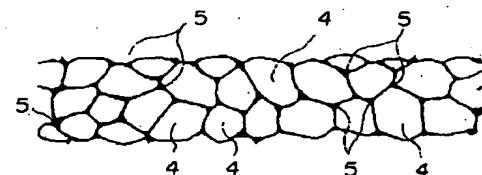
4 … 結晶粒

5 … 炭化物

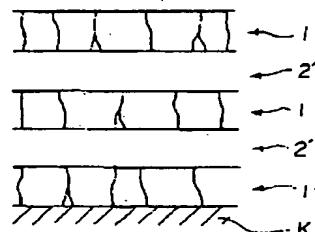
【図1】



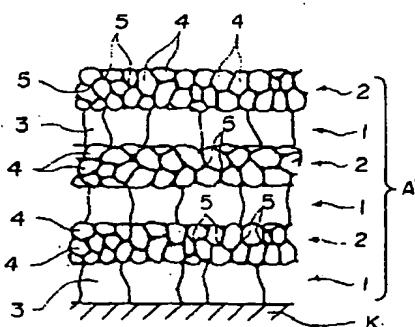
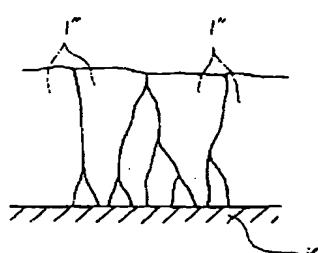
【図2】



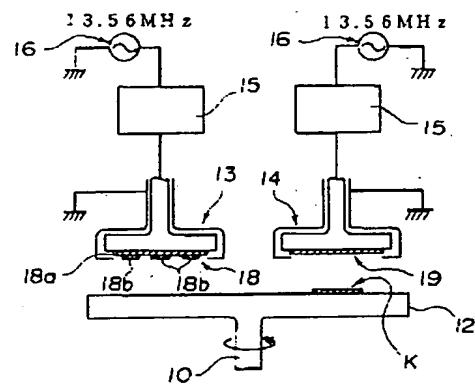
【図4】



【図5】



【図3】



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**